

Method and device for operating turbocompressors with a plurality of controllers that interfere one with each other

Patent Number: ☐ US6164901
Publication date: 2000-12-26
Inventor(s): BLOTENBERG WILFRIED (DE)
Applicant(s): GHH BORSIG TURBOMASCHINEN GMBH (DE)
Requested Patent: ☐ DE19828368
Application Number: US19990336444 19990618
Priority Number(s): DE19981028368 19980626
IPC Classification: F01D17/00
EC Classification: F04D27/00
Equivalents: ☐ EP0967396, A3, B1

Abstract

A process for operating multistage turbocompressors (2, 22, 42) with a plurality of controllers (15, 35, 55) which interact one with each other, in which each compressor stage has anti-surge control valves (5, 25, 45) of its own, which recycle into the suction lines (1, 21, 41) of their respective own compressor stage (2, 22, 42). The control is performed by flow computers (6, 26, 46) for calculating the suction flow and computers (7, 27, 47) for determining the minimum acceptable flow from the delivery head. A comparison unit (12, 32, 52) determines the difference between the set point (derived from delivery head) minus the actual value (flow) and whenever the actual value is too low compared with the set point, it brings about a gradual opening of the corresponding surge line control valves (5, 25 and 45) until the actual flow exactly corresponds to the flow set point, which depends on the particular delivery head. The control takes place via a maximum selection (14, 34, 54), which is arranged upstream of the anti-surge controller (15, 35, 55) with the signal lines (16, 36, 56) to the surge line control valve (5, 25, 45).

Data supplied from the esp@cenet database - I2



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 198 28 368 C 2

51 Int. Cl.⁷:
F 04 D 27/00
F 04 D 27/02

21 Aktenzeichen: 198 28 368.7-51
22 Anmeldetag: 26. 6. 1998
43 Offenlegungstag: 13. 1. 2000
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 18. 10. 2001

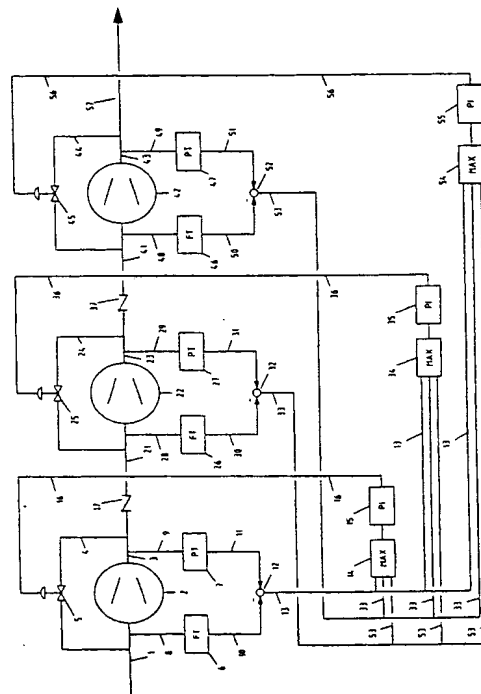
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
MAN Turbomaschinen AG GHH BORSIG, 46145
Oberhausen, DE
74 Vertreter:
Radünz, I., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 40237 Düsseldorf

72 Erfinder:
Blotenberg, Wilfried, Dr.-Ing., 46535 Dinslaken, DE
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
EP 05 76 238 A1
EP 01 32 487 A2
JP 09-3 03 290

54 Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben von zwei- oder mehrstufigen Verdichtern

57 verfahren zum Betreiben von zwei- oder mehrstufigen Verdichtern, bei denen jede Verdichterstufe (2, 22, 42) ein eigenes zwischen einer Druckleitung (3, 23, 43) über eine Umblaseleitung (4, 24, 44) und einer Ansaugleitung (1, 21, 41) angeordnetes Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45), das jeweils in die Ansaugleitung der zugehörigen Verdichterstufe abbläst, und jeweils einen Durchflußrechner (6, 26, 46) zum Berechnen des Ansaugdurchflusses sowie einen Rechner (7, 27, 47) für den minimal zulässigen Solldurchfluß aufweist, der aus dem Enddruck oder der Förderhöhe ermittelt wird, wobei die Rechner (6, 7), (26, 27), (46, 47) über Signalleitungen (8, 9), (28, 29), (48, 49) jeweils mit den Ansaugleitungen und Druckleitungen (1, 3), (21, 23), (41, 43) und jeweils über zwei weitere Signalleitungen (10, 11), (30, 31), (50, 51) mit Vergleichern (12, 32, 52) verbunden sind, die ihrerseits jeweils über eine Maximalauswahl (14, 34, 54), einen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) sowie Steuerleitungen (16, 36, 56) angeschlossen sind, dadurch gekennzeichnet, dass den Pumpgrenzreglern (15, 35, 55) jeweils die zugehörige Maximalauswahl (14, 34, 54) vorgeschaltet wird, dass die Regeldifferenz aus dem Soll-/Ist-Wert-Vergleich der Vergleicher (12, 32, 52) der zugehörigen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) der entsprechenden Verdichterstufen (2, 22, 42) jeweils jeder Maximalauswahl (14, 34, 54) aufgeschaltet wird, dass das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) über die Steuerleitung (16, 36, 56) durch ein von der Regeldifferenz über den Pumpgrenzregler (15, 35, 55) hervorgerufenen positives oder negatives Signal entsprechend geöffnet oder geschlossen wird und dass die Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) gleichzeitig und bei gleicher Einstellung der Pumpgrenzregler (15, 35, 55) um den gleichen Betrag über die Maximalauswahl (16, 36, 46) verstellt werden.



DE 198 28 368 C 2

DE 198 28 368 C 2

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben von Verdichtern.

[0002] Turboverdichter werden häufig mit mehreren Reglern ausgerüstet. Der Pumpgrenzregler eines Turboverdichters überwacht z. B. die Lage des Kompressorarbeitspunktes im Kennfeld und öffnet bei unzulässig kleinem Kompressordurchsatz ein Pumpgrenzregelventil zur Saugseite oder zur Atmosphäre. Zur Anpassung der Turboverdichter an die prozeßseitigen Erfordernisse werden häufig Druck- oder Durchflußregler eingesetzt, deren Stellorgan verstellbare Leitschaukeln oder Drosselklappen sind. Bei Verdichtern mit drehzahlvariablem Antrieb kann auch die Drehzahl zur Kapazitätsanpassung verstellt werden.

[0003] Eine Verstellung des Pumpgrenzregelventils beeinflusst auch den Verdichterenddruck bzw. den Durchfluß zum Prozeß. Eine Verstellung des Stellorgans des Prozeßgrößenreglers hat einen Einfluß auf die Lage des Arbeitspunktes im Kennfeld und kann dadurch den Pumpgrenzregler eingreifen lassen.

[0004] Üblicherweise wird der Pumpgrenzregler als kritischer Turbomaschinen-Schutzregler auf das schnellstmögliche Ansprechverhalten eingestellt. Für Pumpgrenzregelungen werden die schnellsten verfügbaren Regler verwendet, die die schnellsten verfügbaren Ventile ansteuern.

[0005] Die Prozeßgrößenregelung muß an das Zeitverhalten des Prozesses angepaßt sein. Insbesondere Druckregelungen zeichnen sich durch deutlich längere Zeitkonstanten als die für Pumpgrenzregelungen erforderlichen aus.

[0006] Hierdurch ist im Normalfall sichergestellt, daß sich die verschiedenen Regelkreise nicht gegenseitig unzulässig beeinflussen. Der Pumpgrenzregler regelt eine Störung wesentlich schneller aus als der Prozeßgrößenregler. Er hat das Pumpgrenzregelventil in die neue erforderliche Position gebracht, noch bevor der Prozeßgrößenregler merklich reagiert hat. Eine zusätzliche Entkopplung der Pumpgrenzregler untereinander ist in diesen Fällen nicht erforderlich.

[0007] Es gibt aber Anwendungen, in denen entweder die Pumpgrenzregler langsam reagieren oder der Prozeßgrößenregler schnell reagieren muß. In diesen Anwendungsfällen kann eine gegenseitige Beeinflussung der Regler untereinander nicht ausgeschlossen werden. Eine Störung auf der Verdichtersaugseite kann z. B. zur Folge haben, daß sich der Arbeitspunkt der Pumpgrenze ein Stück weiter nähert.

[0008] Der Pumpgrenzregler reagiert hierauf und öffnet das Pumpgrenzregelventil zum Schutz des Verdichters ein Stück. Dadurch wird weniger Fördermedium in den Prozeß gefördert und der Durchfluß (bzw. der Druck) auf der Verdichterdruckseite sinkt. Dies bemerkt der Prozeßgrößenregler und erhöht die Förderleistung des Verdichters. Die Folge ist, daß sich der Arbeitspunkt von der Pumpgrenze entfernt. Hierauf reagiert nun der Pumpgrenzregler und schließt das Pumpgrenzregelventil entsprechend. Dieses läßt aber nun den Druck sowie den Durchfluß auf der Verdichterdruckseite ansteigen. Der Prozeßgrößenregler reagiert hierauf, indem er die Förderleistung des Kompressors entsprechend reduziert. Dieses bringt aber in Folge den Arbeitspunkt wieder in die Nähe der Pumpgrenze, so daß der Pumpgrenzregler das Pumpgrenzregelventil wieder öffnet. Der Vorgang beginnt von vorn und kann sich bei ungünstiger Wahl der Zeitparameter und ungünstiger Phasenlage zu einer Dauerschwingung von Prozeßgröße und Pumpgrenzregelventil führen.

[0009] Turboverdichter mit mehreren Stufengruppen werden, insbesondere wenn Fördermedium zwischen den verschiedenen Stufen eingespeist oder entnommen wird, mit individuellen Pumpgrenzregelungen pro Stufengruppe ge-

schützt. Auch hier kann eine wechselseitige Beeinflussung der Pumpgrenzregler untereinander erfolgen. Falls durch eine Störung auf der Saugseite der Niederdruckstufe das Druckverhältnis über dieser Stufe erhöht wird, bewegt sich der Arbeitspunkt dieser Stufe in Richtung Pumpgrenze, wodurch ein Eingriff des Pumpgrenzreglers der Niederdruckstufe erforderlich werden kann, der das Pumpgrenzregelventil der Niederdruckstufe ein Stück öffnet. Dieses bewirkt eine Absenkung des Enddrucks der Niederdruckstufe bzw. des Eintrittsdrucks der Hochdruckstufe. Dies geht einher mit einer Erhöhung des Druckverhältnisses der Hochdruckstufe, was nun ein Öffnen des Pumpgrenzregelventils dieser Stufe zur Folge hat. Da bei Gaskompressoren die Pumpgrenzregelventile das druckseitige Gas jeweils zur Saugseite entspannen, bewirkt ein Öffnen des hochdruckseitigen Pumpgrenzregelventils einen Anstieg des Saugdrucks dieser Stufe und damit einen Anstieg des Enddrucks der Niederdruckstufe. Die Pumpgrenzregelung der Niederdruckstufe wird hierdurch zum weiteren Eingreifen gezwungen, das Niederdruck-Pumpgrenzregelventil öffnet weiter.

[0010] Bei schnellen transienten Vorgängen ist es durchaus möglich, daß der Pumpgrenzregler heftiger greift als unbedingt erforderlich und das Pumpgrenzregelventil weiter geöffnet wird als für den Schutz des Kompressors erforderlich. Dies bewirkt, daß nach dem Abklingen der ersten Störung die Pumpgrenzregelventile wieder geschlossen werden. Da die Störung im Niederdruckteil begonnen hat, schließt der Pumpgrenzregler der Niederdruckstufe dieses Ventil wieder. Damit steigt der Enddruck dieser Stufe und somit auch der Ansaugdruck der Hochdruckstufe. Das Druckverhältnis der Hochdruckstufe sinkt und der entsprechende Pumpgrenzregler schließt das hochdruckseitige Pumpgrenzregelventil. Dies hat nunmehr wieder einen Einfluß auf den Niederdruckteil usw. Sind die Regler derart eingestellt, daß sie auf eine transiente Störung mit einer gewissen Übersteuerung reagieren, kann eine phasenverschobene gegenseitige Beeinflussung der beiden Pumpgrenzregler nicht ausgeschlossen werden.

[0011] Die Gefahr von Wechselwirkungen steigt, wenn nicht nur zwei Verdichterstufengruppen hintereinander, sondern drei oder mehr Verdichterstufen angeordnet sind.

[0012] Die EP 0 132 487 A2 gibt ein Verfahren zum Betreiben von mindestens zwei parallelgeschalteten Turbokompressoren an, die jeweils zur Verhinderung des Pumpens mit einer Pumpgrenzregelung versehen sind, d. h. daß bei ihnen vor Erreichen der Pumpgrenze beim Erreichen einer zu dieser parallel verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblase- oder Umblaseventilen sichergestellt wird, daß ein Pumpen vermieden wird. Dabei werden die Turbokompressoren außerdem gemeinsam von Lastverteilungsreglern und einzeln von je einem Druckregler in der Weise gesteuert, daß die Lastverteilungsregler die Einstellung der Kompressoren untereinander derart regeln, daß bei jedem gleichen Abstände des Betriebspunktes gegenüber der Abblaselinie vorliegen. Das angegebene Verfahren betrifft im wesentlichen die Entkopplung von parallel geschalteten Regelkreisen mit gleicher Regelgröße. Eine Entkopplung von Reglern mit unterschiedlichen Regelgrößen, die auf den gleichen Kompressor wirken, ist bei dem Gegenstand der Entgegenhaltung noch nicht vorgesehen.

[0013] Aus der JP-OS 9-303290 sind zwei hintereinandergeschaltete Kompressoren bekannt. Bei der angegebenen Schaltung enthält jeder Kompressor einen Durchflußregler, dessen Ausgänge jeweils einer Maximalauswahl zugeführt sind. Die beiden Durchflußregler steuern jeweils den Durchfluß im Eintritt eines jeden Kompressors, indem ein Umblaseventil geöffnet wird, welches Gas zurückführt zur Saugseite des Kompressors. Dabei ist die Maximalauswahl dem

Pumpgrenzregler nachgeschaltet.

[0014] Das Verfahren nach der JP-OS 9-303290 hat folgenden entscheidenden Nachteil: Verlangt beispielsweise der Regler 27 eine weitere Öffnung als der Regler 24, dann hat das Ausgangssignal von Regler 27 Zugriff auf beide Ventile und öffnet diese weiter als es Regler 24 für erforderlich hält. Damit stellt der Regler 24 fest, daß sein Durchfluß zu groß ist und versucht durch Änderung seines Ausgangs, und zwar im konkreten Fall durch Absenken seiner Ausgangsgröße, die korrekte Größe einzuregeln. Da jedoch die Maximalauswahl 26 und 29 dem Ausgang des Reglers 27 den Vorrang gibt, bleibt die Stellgrößenänderung des Reglers 24 wirkungslos. Der Regler 24 verändert seine Stellgröße zum Erreichen der unteren Begrenzung, die günstigstenfalls der Wert 0 ist, ungünstigstenfalls können auch deutlich negative Werte angenommen werden. Verschiebt sich nun die Belastung der Kompressoren derart, daß der Regler 24 den Vorrang vor dem Regler 27 haben soll, dann muß der Ausgang des Reglers 27 zunächst unter den Wert des Ausgangs des Reglers 24 sinken oder die Regelgröße muß derart heftig vom Sollwert abweichen, daß der Ausgang des Reglers 24 mit seiner Ausgangsgröße wieder auf den Wert des Reglers 27 angestiegen ist. In beiden Fällen ist eine erhebliche unerwünschte Abweichung der Regelgröße vom Sollwert zu verzeichnen.

[0015] Die Anordnung gemäß JP-OS 9-303290 hat den entscheidenden Nachteil, daß eine Entkopplung von Reglern mit unterschiedlichen Regelgrößen nicht angegeben ist, die auf den gleichen Kompressor wirken.

[0016] Die EP 0 576 238 A1 beschreibt ein Regelverfahren für eine Anwendung mit mehreren Kompressoren innerhalb einer Station. Bei dieser Ausführung wird einer der Kompressoren innerhalb der Station als Führungskompressor ausgewählt, der dann die Hauptregelgröße einregelt. Dabei besteht die Regelung im wesentlichen darin, die Belastung der unterschiedlichen Kompressoren zueinander gleichmäßig zu verteilen. Damit weist auch das bekannte Verfahren nach dieser Druckschrift den Nachteil auf, daß keine Entkopplung der individuellen Kompressorregelungen vorgesehen ist.

[0017] Aufgabe der Erfindung ist es, gattungsgemäß ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben von Verdichtern mit mehreren sich gegenseitig beeinflussenden Regelkreisen in der Art zu schaffen, daß auch bei gleichem Zeitverhalten aller Regelgrößen eine schwingungsanregende Wechselwirkung der Regelkreise untereinander vermieden wird.

[0018] Die Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 und bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 10 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens und der Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0019] Erfindungsgemäß wird für eine solche Regelkreisarchitektur ein Verfahren zur Entkopplung der Regler entwickelt. Ziel dieses Entkopplungsverfahrens ist es, die Wechselwirkung der einzelnen Regler aufzuheben und in der Wahl der Reglerparameter völlig frei zu sein.

[0020] Es handelt sich daher hier nicht um ein Verfahren zum Schutz von Kompressoren vor Pumpen, sondern um ein Verfahren, mit dem Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Reglern, z. B. Pumpgrenz- und Prozessgrößenreglern, vermieden werden.

[0021] Ein typischer Maschinenstrang zur Kompression von Gas besteht aus drei in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Stufengruppen.

[0022] Andere Anordnungen sind ebenfalls möglich, das Verfahren darauf ebenso anwendbar. Eine dieser Stufen be-

steht jeweils aus der Ansaugleitung der Niederdruckstufe, dem Verdichter, der Druckleitung und einer Umblasleitung mit dem Pumpgrenzregelventil, ferner einem Durchflußrechner zur Berechnung des Ansaugdurchflusses sowie einem Rechner zur Ermittlung der Förderhöhe. Die Rechner sind über Signalleitungen und mit den Rohrleitungen und über weitere Signalleitungen mit dem Vergleicher verbunden. Ein Vergleicher ermittelt die Differenz aus Sollwert (Förderhöhe) minus Istwert (Durchfluß) und bewirkt immer dann, wenn der Istwert im Verhältnis zum Sollwert zu klein ist, eine graduelle Öffnung des Pumpgrenzregelventils, bis der Ist-Durchfluß genau dem von der jeweiligen Förderhöhe abhängigen Soll-Durchfluß entspricht. Die Verstellung erfolgt über die Maximalauswahl, den PI-Regler sowie die Signalleitung zum Pumpgrenzregelventil. Eine Rückschlagklappe entkoppelt den ersten Verdichter von der nachgeschalteten Mitteldruckstufe.

[0023] Die Ergebnisse eines Soll-/Ist-Wert-Vergleiches werden über eine Steuerleitung direkt auf den Pumpgrenzregler, der das Pumpgrenzregelventil über eine Steuerleitung verstellt, übertragen.

[0024] Ist der Ist-Durchfluß kleiner als der von der Förderhöhe abhängige Soll-Durchfluß, wird die im Vergleicher ermittelte Regeldifferenz positiv und verstellt über die Steuerleitung den Ausgang des Pumpgrenzreglers in Richtung eines weiteren öffnenden Pumpgrenzregelventils.

[0025] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, daß den Pumpgrenzreglern jeweils die zugehörige Maximalauswahl vorgeschaltet wird, daß die Regeldifferenz aus dem Soll-/Ist-Wert-Vergleich der Vergleicher der zugehörigen Pumpgrenzregler der entsprechenden Verdichterstufen jeweils jeder Maximalauswahl aufgeschaltet wird, daß das Pumpgrenzregelventil über die Steuerleitung durch ein von der Regeldifferenz über den Pumpgrenzregler hervorgerufenen positives oder negatives Signal entsprechend geöffnet oder geschlossen wird und daß die Pumpgrenzregelventile gleichzeitig und bei gleicher Einstellung der Pumpgrenzregler um den gleichen Betrag über die Maximalauswahl verstellt werden.

[0026] Die Wirkung der Regeldifferenz ist derart, dass ein positives Signal den Reglerausgang sinken lässt und damit das Pumpgrenzregelventil öffnet und ein negatives Signal das Pumpgrenzregelventil schließt. Die Maximalauswahl bewirkt nun, dass immer dann, wenn eine der drei Maschinen in einen Betriebsbereich gelangt, der ein Öffnen des Pumpgrenzregelventils verlangt, diese Größe allen drei Pumpgrenzreglern aufgeprägt wird und jeder Regler sein zugehöriges Pumpgrenzregelventil über die Steuerleitungen entsprechend öffnet. Eine wechselseitige Beeinflussung ist dadurch verhindert, weil alle Pumpgrenzregelventile gleichzeitig und bei gleicher Reglereinstellung auch um den gleichen Betrag öffnen.

[0027] Haben alle drei Verdichterstufen den gefährlichen Arbeitsbereich, in dem der Durchfluß geringer als zulässig ist, durch Öffnen der Pumpgrenzregelventile wieder verlassen, schalten die Maximalauswahlglieder jeweils die Regeldifferenz auf den Regler, der das Pumpgrenzregelventil mit dem kleinsten Gradienten schließt.

[0028] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann zwischen den Vergleichen sowie der Maximalauswahl eine Anordnung zur Beeinflussung der Regeldifferenzen zwischengeschaltet werden.

[0029] Die Regeldifferenz wird über die Signalleitung einem Verzögerungsglied erster Ordnung und einem addierenden Begrenzer aufgeschaltet. Dieser Begrenzer addiert die Eingänge vorzeichengerecht, d. h., er subtrahiert von der Regeldifferenz die über das Verzögerungsglied verzögerte Regeldifferenz. Im stationären Zustand ist diese Differenz

null, so daß der Addierer lediglich das Signal der Maximalauswahl weitergibt. Der Begrenzer ist auf einen Bereich von 0 bis 1 eingestellt, er begrenzt negative Werte auf den Wert null.

[0030] Sollte sich nun der Arbeitspunkt auf die Regellinie zubewegen, folgt das Ausgangssignal des Verzögerungsgliedes zeitlich verzögert. Bei einer größeren Änderung der Regeldifferenz kann das Ausgangssignal des Limitierers bereits positiv werden, wenn die Regeldifferenz selbst noch negativ ist. Andererseits verschwindet die Wirkung der Korrekturgröße, d. h. der Ausgang des Limitierers wird null, wenn die Regeldifferenz stationär einen von null verschiedenen Wert annimmt.

[0031] Dem Limitierer kann bei Bedarf noch eine Konstante aufaddiert werden. Diese Konstante bewirkt einen Versatz. Der Ausgang des Begrenzers wird erst dann größer null, wenn die Differenz der beiden anderen Eingangsgrößen den als Konstante eingestellten Schwellwert überschritten hat.

[0032] Selbstverständlich kann dieser Offset bzw. diese Konstante auch ohne die verzögernde Wirkung des Verzögerungsgliedes erster Ordnung angewendet werden.

[0033] Es versteht sich von selbst, daß der Betrag des konstanten Offsets abhängig gemacht werden kann von bestimmten Betriebszuständen oder Prozeßgrößen.

[0034] Diese Maßnahmen können selbstverständlich auch angewendet werden, wenn ein Pumpgrenzregler und ein Prozeßgrößenregler zu entkoppeln sind.

[0035] Die Korrekturgröße auf den Prozeßgrößenregler wirkt dann derart, daß bei Annäherung an die Pumpgrenze oder beim Überschreiten der Regellinie der Eingang des Prozeßgrößenreglers derart verändert wird, daß der die Wirkung des Pumpgrenzreglers unterstützt und den Kompressor aus dem Gefährdungsbereich herausfährt.

[0036] Dadurch wird verhindert, daß der Prozeßgrößenregler der Wirkung des Pumpgrenzreglers entgegenwirkt und dadurch eine wechselseitige Reglerbeeinflussung entsteht.

[0037] Durch die Parameterwahl des Limitierers kann z. B. auch erreicht werden, daß bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Pumpgrenze das Eingangssignal des Prozeßgrößenreglers derart beeinflußt werden kann, daß nur geringe Gradienten für eine Reduzierung der Kompressorleistung zugelassen werden. Hierdurch ist der Prozeßgrößenregler noch wirksam, kann jedoch nur mit begrenzter Wirkung eingreifen.

[0038] Eine ähnliche Wirkung läßt sich dadurch realisieren, daß einer Minimalauswahl vor dem Regler eine über einen Begrenzer beeinflusste Korrekturgröße aufgeschaltet wird.

[0039] Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung von gegenseitiger Beeinflussung verschiedener Regelkreise besteht darin, den Gradienten für Stellgrößenveränderungen zu begrenzen. Dazu werden den Pumpgrenzreglern bzw. den Prozeßgrößenreglern ein Gradientenbegrenzer mit integriertem Eingangsverstärker, Begrenzer und Integrator nachgeschaltet.

[0040] Im Soll-Ist-Wert-Vergleich wird die Differenz aus aktuellem Kompressordurchfluß und minimal zulässigen Durchfluß gebildet und über eine Signalleitung dem Pumpgrenzregler zugeleitet, der das Pumpgrenzregelventil derart verstellt, daß der Kompressor nicht im instabilen Arbeitsbereich betrieben wird.

[0041] Über die Signalleitungen werden einem zusätzlichen Vergleicher der Prozeßgrößen Sollwert und der Prozeßgrößen Istwert aufgeschaltet. Die Differenz dieser beiden Werte wirkt über eine eigene Signalleitung und einen Begrenzer und einen Prozeßgrößenregler. Dieser Prozeßgrößen-

Benregler verstellt das zugehörige Stellorgan (Leitschaukeln, Drosselorgan, Drehzahl) derart, daß der Prozeßgrößen Istwert genau dem Sollwert entspricht.

[0042] Der Limitierer begrenzt die Regeldifferenz des Prozeßgrößenreglers. Da der Prozeßgrößenregler üblicherweise als Proportional-Integralregler (PI-Regler) geschaltet ist, begrenzt der Limitierer den Gradienten für die integrale Verstellung der Stellgröße. Wird der Begrenzer auf den Grenzwert null gestellt, verändert sich die Stellgröße des Prozeßgrößenreglers überhaupt nicht mehr.

[0043] Über eine weitere Signalleitung können die obere und untere Grenze des Begrenzers in Abhängigkeit von einer Prozeßgröße variiert werden. Hierbei wird die Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers als Stellgröße verwendet. Ein Funktionsgeber gestattet die Definition eines nichtlinearen Zusammenhangs zwischen Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers und den wirksamen Grenzen des Begrenzers. Der Funktionsgeber kann z. B. derart eingestellt sein, daß bei einer Regeldifferenz größer 20% keinerlei Begrenzung wirksam ist, bis zu einer Regeldifferenz von 3% kann die Begrenzung quadratisch mit der Regeldifferenz abnehmen und bei einer Regeldifferenz unter 3% die untere Grenze auf null stellen. Jeder andere, auch nichtlineare Funktionsverlauf ist bei Bedarf einstellbar. Die obere und untere Grenze sind auch getrennt variabel gestaltbar. In diesem Fall werden zwei Funktionsgeber getrennt für die obere und die untere Grenze verwendet.

[0044] Statt einer Begrenzung der Regeldifferenz kann der Funktionsgeber auch direkt auf die Regelparameter des Prozeßgrößenreglers einwirken und diese entsprechend anpassen.

[0045] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird dem Regler (Prozeßgrößenregler oder Pumpgrenzregler) ein Gradientenbegrenzer nachgeschaltet. Eine Signalleitung überträgt die Ausgangsgröße des Reglers (Prozeßgrößenregler oder Pumpgrenzregler) zum Eingangsverstärker eines Gradientenbegrenzers. Dieser Verstärker ist auf eine hohe Verstärkung eingestellt, so daß auch bei einer geringen Abweichung zwischen dem Ausgang des Reglers und dem Ausgang des Gradientenbegrenzers, rückgekoppelt über eine zusätzliche Signalleitung, der Begrenzer ein großes Eingangssignal erhält. Die Grenzwerte des Begrenzers bestimmen den Gradienten für die Verstellung des Integrators. Ist der Begrenzer auf kleine Werte eingestellt, erhält der Integrator nur kleine Eingangswerte und verstellt seinen Ausgang auch bei einer Abweichung am Eingang des Verstärkers nur langsam.

[0046] Über eine weitere Steuerleitung können die Grenzwerte des Begrenzers in gleicher Weise angepaßt werden wie dies zuvor für die Begrenzung der Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers beschrieben wurde.

[0047] Bei einer Begrenzung des Gradienten im Ausgang des Reglers ist durch sekundäre Maßnahmen sicherzustellen, daß der Ausgang des Gradientenbegrenzers nicht unzulässig vom Ausgang des Reglers abweicht. Im Regelfall ist der Reglerausgang beim Eingreifen der ausgangsseitigen Gradientenbegrenzung auf den Ausgang des Begrenzers nachzuführen.

[0048] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann an der Ausgangsleitung der Hochdruckstufe der jeweilige Enddruck von einem Druckmeßumformer aufgenommen werden und an einen zusätzlichen Soll-Ist-Wert-Vergleicher übertragen werden, wobei über einen weiteren Prozeßgrößenregler die Stellantriebe der Leitschaukeln jeder der drei Verdichterstufen angesprochen werden können.

[0049] Darüber hinaus kann hinter jeder Verdichterstufe der aktuelle Druck von einem Meßumformer aufgenommen werden und einem Soll-Ist-Wert-Vergleicher zugeführt wer-

den. Parallel dazu werden Regelparameter zwischen der Maximalauswahl und dem Pumpgrenzregler abgezweigt und einem Funktionsgeber zugeführt. Dieser überträgt seine Daten auf den obengenannten zusätzlichen Prozeßgrößenregler. Schließlich kann zwischen dem Funktionsgeber und dem Prozeßgrößenregler ein zusätzlicher Begrenzer angeordnet werden, der nur speziell ausgewählte Regelgrößen weiterleitet.

[0050] Die Erfindung wird anhand von schematischen Ausführungsbeispielen näher beschrieben.

[0051] Es zeigen:

[0052] Fig. 1 ein Schaltbild zur Reglerentkopplung eines dreistufigen Turboverdichters von Prozeßgasen,

[0053] Fig. 2 ein Schaltbild mit einer zwischengeschalteten Konstante zwischen einem Soll-/Ist-Wert-Vergleicher und einem Pumpgrenzregler,

[0054] Fig. 3 ein Schaltbild zur Begrenzung des Gradienten für die Stellgrößenveränderung,

[0055] Fig. 4 ein Schaltbild eines Gradientenbegrenzers nach einem Prozeßgrößen- oder Pumpgrenzreglers,

[0056] Fig. 5 ein Schaltbild entsprechend Fig. 1 mit einem an der Druckleitung angeordneten Druckmeßumformer,

[0057] Fig. 6 ein Schaltbild einer Turboverdichterstufe, bei dem Daten aus der Maximalauswahl zusätzlich einem Prozeßgrößenregler übertragen werden,

[0058] Fig. 7 ein Schaltbild einer Turboverdichterstufe, bei dem Daten aus der Maximalauswahl einem Begrenzer und danach einem Prozeßgrößenregler übertragen werden.

[0059] Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Reglerentkopplung eines dreistufigen Turboverdichters, bei dem jede Verdichterstufe (2, 22, 42) eigene Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) aufweist, die jeweils in die Ansaugleitungen (1, 21, 41) der eigenen Verdichterstufe (2, 22, 42) abblasen.

[0060] Ein Maschinenstrang zur Kompression von Gas besteht aus drei in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Stufengruppen (2, 22, 42). Der dreistufige Verdichter besteht jeweils aus den Ansaugleitungen (1, 21, 41), dem Niederdruckverdichter (2), dem Mitteldruckverdichter (22) und dem Hochdruckverdichter (42), den Druckleitungen (3, 23, 43), den Umblasleitungen (4, 24, 44) mit den Pumpgrenzregelventilen (5, 25, 45), den Durchflussrechtern (6, 26, 46) zur Berechnung des Ansaugdurchflusses sowie dem Rechner (7, 27, 47) für den minimal zulässigen Solldurchfluss, der aus dem Enddruck bzw. der Förderhöhe ermittelt wird. Zur Berechnung der Förderhöhe wird auch der jeweilige Ansaugdruck und die Ansaugtemperatur benötigt. Die zugehörigen Wirkleitungen sind nicht dargestellt.

[0061] Die Rechner (6, 7), (26, 27) und (46, 47) sind über Signalleitungen (8 und 9), (28 und 29) sowie (48 und 49) mit den Förderrohrleitungen und jeweils über zwei weitere Signalleitungen (10 und 11), (30 und 31) sowie (50 und 51) mit den Vergleichern (12, 32 und 52) verbunden. Jeder Vergleich (12, 32, 52) ermittelt die Differenz aus Sollwert (Förderhöhe) minus Istwert (Durchfluss) und bewirkt immer dann, wenn der Istwert im Verhältnis zum Sollwert zu klein ist, eine graduelle Öffnung der entsprechenden Pumpgrenzregelventile (5, 25 bzw. 45), bis der Ist-Durchfluss genau dem von der jeweiligen Förderhöhe abhängigen Soll-Durchfluss entspricht. Die Verstellung erfolgt über eine Maximalauswahl (14, 34, 54), den Pumpgrenzregler (15, 35, 55) sowie die Signalleitungen (16, 36, 56) zum Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45). Eine Rückschlagklappe (17, 37, 57) entkoppelt den Niederdruckkompressor (2) vom Mitteldruckkompressor (22) und den Mitteldruckkompressor (22) vom Hochdruckkompressor (42) und den Hochdruckkompressor von der Anlage selbst.

[0062] Die Messwerte/Signale des Soll-/Ist-Wert-Vergleichers (12, 32, 52) wirken über die Steuerleitung (13, 33, 53)

direkt auf den Pumpgrenzregler (15, 35, 55), der das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) über die Steuerleitung (16, 36, 56) verstellt. Ist der Ist-Durchfluss kleiner als der von der Förderhöhe abhängige Soll-Durchfluss, wird die Regeldifferenz positiv und verstellt den Ausgang des Pumpgrenzreglers (15, 35, 55) in Richtung eines weiter öffnenden Ventils (5, 25, 45).

[0063] Den Pumpgrenzreglern (15, 35, 55) wird dabei eine Maximalauswahl (14, 34 und 54) vorgeschaltet, deren einer Eingang die Regeldifferenz des Soll-Ist-Wert-Vergleichers (12, 32, 52) des zugehörigen Pumpgrenzreglers (15, 35, 55) der entsprechenden Verdichterstufe (2, 22, 42) ist. Dieser Maximalauswahl wird die Regeldifferenz der anderen Soll-/Ist-Wertvergleicher (32 und 52) ebenfalls aufgebracht. Die Wirkung der Regeldifferenz ist derart, dass ein positives Signal den Reglerausgang (15, 35, 55) sinken lässt und damit das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) öffnet und ein negatives Signal das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) schließt. Die Maximalauswahl (14, 34, 54) bewirkt nun, dass immer dann, wenn eine der drei Verdichterstufen (2, 22 oder 42) in einen Betriebsbereich gelangt, der ein Öffnen des Pumpgrenzregelventils (5, 22 oder 42) verlangt, diese Größe allen drei Pumpgrenzreglern (15, 35 und 55) aufgebracht werden und jeder Pumpgrenzregler (15, 35 oder 55) sein zugehöriges Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) über die Steuerleitung (16, 36, 56) entsprechend öffnet. Eine wechselseitige Beeinflussung ist dadurch verhindert, da alle Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) gleichzeitig und bei gleicher Reglereinstellung auch um den gleichen Betrag öffnen.

[0064] Haben alle drei verdichterstufen (2, 22, 42) den gefährlichen Arbeitsbereich, in dem der Durchfluss geringer als zulässig ist, durch Öffnen der Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) wieder verlassen, schalten die Maximalauswahlglieder (14, 34 und 54) jeweils die Regeldifferenz auf den Pumpgrenzregler (15, 35, 55), die das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) mit dem kleinsten Gradienten schließt.

[0065] Entsprechend Fig. 2 kann zwischen den Soll-/Ist-Wert-Vergleichern (12, 32 und 52) sowie der Maximalauswahl (14, 34 und 54) ein Ergänzungsbaustein (61, 62, 63) zwischengeschaltet werden.

[0066] Die im Soll-/Ist-Wert-Vergleicher (12) ermittelte Regeldifferenz wird über die Signalleitung (60) einem Verzögerungsglied erster Ordnung (61) und einem addierenden Begrenzer (63) aufgeschaltet. Der Begrenzer (63) addiert die Eingänge vorzeichengerecht, d. h. er subtrahiert von der Regeldifferenz die über Verzögerungsglied (61) verzögerte Regeldifferenz. Im stationären Zustand ist diese Differenz null, so dass der Addierer (64) lediglich das Signal der Maximalauswahl (14) weitergibt. Der Begrenzer (63) ist auf einen Bereich von 0 bis 1 eingestellt, er begrenzt negative Werte auf den Wert null.

[0067] Sollte sich nun der Arbeitspunkt auf die Regellinie zubewegen, folgt das Ausgangssignal (60.2) des Verzögerungsgliedes (61) zeitlich verzögert. Bei einer größeren Änderung der Regeldifferenz kann das Ausgangssignal des Limitierers (63) bereits positiv werden, wenn die Regeldifferenz selbst noch negativ ist. Andererseits verschwindet die Wirkung der Korrekturgröße, d. h. der Ausgang des Limitierers (63) wird zu null, wenn die Regeldifferenz stationär einen von null verschiedenen Wert annimmt.

[0068] Zusätzlich kann dem Limitierer (63) noch eine Konstante (62) aufaddiert werden. Diese Konstante (62) bewirkt einen Versatz. Der Ausgang des Begrenzers (63) wird erst dann größer null, wenn die Differenz der beiden anderen Eingangsgrößen (60.1 und 60.2) den als Konstante eingestellten Schwellwert überschritten hat.

[0069] Selbstverständlich kann diese Konstante (62) auch ohne die verzögernde Wirkung des Verzögerungsgliedes

(61) verwendet werden.

[0070] Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung von gegenseitiger Beeinflussung verschiedener Regelkreise besteht darin, den Gradienten für Stellgrößenveränderungen zu begrenzen.

[0071] Entsprechend Fig. 3 wird im Soll-/Ist-Wert-Vergleicher (12) die Differenz aus aktuellem Kompressordurchfluss und minimal zulässigen Durchfluss gebildet und über eine Signalleitung (60) dem Pumpgrenzregler (15) zugeleitet, der das Pumpgrenzregelventil (5) über die Steuerleitung (16) derart verstellt, dass der Turboverdichter nicht im instabilen Arbeitsbereich betrieben wird.

[0072] Über die Signalleitungen (70 und 71) werden dem Soll-/Ist-Wert-Vergleicher (72) der Prozessgrößen Sollwert und der Prozessgrößen Istwert aufgeschaltet. Die Differenz dieser beiden Werte wirkt über die Signalleitung (73) und den Begrenzer (74) auf den Prozessgrößenregler (78). Dieser Regler verstellt das zugehörige Stellorgan (18) des Turboverdichters (Leitschaufeln, Drosselorgan, Drehzahl) derart, dass der Prozessgrößen-Istwert genau dem Sollwert entspricht.

[0073] über die Signalleitung (76) können die obere und untere Grenze des Begrenzers (74) in Abhängigkeit von einer Prozeßgröße variiert werden. Im gezeichneten Fall wird die Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers (15) als Stellgröße verwendet. Der Funktionsgeber (75) gestattet die Definition eines nichtlinearen Zusammenhangs zwischen Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers und den wirksamen Grenzen des Begrenzers.

[0074] Der Prozeßgrößenregler (78) reagiert mit seinem eingestellten (als Parametersatz einstellbar) Zeitverhalten auf die Eingangsgröße. Eine große Regeldifferenz am Eingang bewirkt, daß der Regler (78) seine Ausgangsgröße schnell verändert, bei einer kleinen Regeldifferenz am Eingang verändert sich der Ausgang nur langsam. Durch eine gesteuerte Beeinflussung der Regeldifferenz am Eingang des Prozeßgrößenreglers (78) kann das Zeitverhalten der Ausgangsgröße beliebig beeinflusst werden. Durch eine Begrenzung auf null durch den Begrenzer (74) kann eine Veränderung des Reglerausgangs in die eine oder andere Richtung völlig verhindert werden, durch gesteuerte Begrenzung auf positive Werte kann der Reglerausgang (78) sogar in Richtung größerer Ausgangswerte gesteuert werden, selbst wenn die Regeldifferenz am Eingang den Reglerausgang senken will.

[0075] Statt einer gesteuerten Beeinflussung der Regeldifferenz des Prozeßgrößenreglers (78) kann auch vom Funktionsgeber (75) aus über die Steuerleitung (76) direkt auf die Regelparameter, insbesondere die Proportionalverstärkung und die Nachstellzeit, zugegriffen werden. Durch diesen Steuereingriff wird das gleiche bewirkt wie durch den Begrenzer (74) im Eingang des Prozeßgrößenreglers (78).

[0076] Entsprechend Fig. 4 ist dem Regler (15/78) (Pumpgrenzregler (15) oder Prozeßgrößenregler (78)) ein Gradientenbegrenzer (80) nachgeschaltet. Die Signalleitung (79) überträgt die Ausgangsgröße des Reglers (15/78) zum Eingangsverstärker (81). Dieser Verstärker (81) ist auf eine hohe Verstärkung eingestellt, so dass auch bei einer geringen Abweichung zwischen dem Ausgang des Reglers (79) und dem Ausgang des Gradientenbegrenzers (84) rückgekoppelt über die Signalleitung (85) der Begrenzer (82) ein großes Eingangssignal erhält. Die Grenzwerte des Begrenzers (82) bestimmen den Gradienten für die Verstellung des Integrators (83). Ist der Begrenzer (82) auf kleine Werte eingestellt, erhält der Integrator (83) nur kleine Eingangswerte und verstellt seinen Ausgang (84) auch bei einer Abweichung am Eingang des Verstärkers (81) nur langsam.

[0077] Über die Steuerleitung (86) können die Grenzwerte

des Begrenzers (82) in gleicher Weise angepasst werden wie dies zuvor für die Begrenzung der Regeldifferenz des Reglers (15/78) beschrieben wurde.

[0078] Fig. 5 zeigt ein Schaltbild entsprechend Fig. 1 mit einem an der Druckleitung (43) nach der Rückschlagklappe (57) der dritten Verdichterstufe (42) angeordneten Druckmessumformer (20), der Regeldaten über eine Signalleitung (88) auf einen Soll-Ist-Wert-Vergleicher (12) sowie Prozeßgrößen-Sollwerte (89) vom Leitsystem empfängt.

[0079] Ein Prozessgrößenregler (78) überträgt die Soll-Ist-Wertvergleiche (Regelgrößen) über eine Steuerleitung (87) an die Stellantriebe (18) zur Verstellung der Leitschaufeln (19) in den Nieder-, Mittel- und Hochdruck-Turboverdichterstufen (2, 22, 42).

[0080] Gemäß Fig. 6 kann in der Druckleitung (3) des Niederdruckkompressors (2) nach der Rückschlagklappe (17) ein Druckmessumformer (20) angeordnet werden, der über eine Steuerleitung (71) Regeldaten an einen Soll-Ist-Wert-Vergleicher (72) überträgt und diese über eine Signalleitung (73) auf einen Prozessgrößenregler (78) weiterleitet.

[0081] Von einer Maximalauswahl (14) werden Regeldaten aus dem Soll-Ist-Vergleicher (12) auf einen Funktionsgeber (75) bzw. einen Pumpgrenzregler (15) übertragen, wobei die Maximalauswahl (14) weitere Daten über die Steuerleitung (33) und (35) aus den Mittel- und Hochdruckstufen empfängt.

[0082] Fig. 7 zeigt ein Schaltbild einer Niederdruck-Turboverdichterstufe (2), bei der die Regeldifferenzen des Soll-Ist-Wert-Vergleichers (12) bzw. aus (33) und (53) zunächst der Maximalauswahl (14) zugeleitet werden. Diese Regeldaten werden, wie bereits in Fig. 6 dargestellt, auf einen Pumpgrenzregler (15) und von dort auf das Pumpgrenzregelventil (5) übertragen.

[0083] Dem Funktionsgeber (75) können darüber hinaus Regeldaten aus der Maximalauswahl (14) über eine Steuerleitung (76) auf einen Begrenzer (74) übertragen werden, der dem Prozessgrößenregler (78) vorgeschaltet ist. Der Prozeßgrößenregler (78) ist über eine Steuerleitung (87) mit dem Stellantrieb (18) der Leitschaufeln (19) der Niederdruckstufe (2) verbunden.

Bezugsziffernliste

- 1 Ansaugleitung
- 2 Niederdruckkompressor
- 3 Druckleitung
- 4 Umblaseleitung
- 5 Abblaseventil/Pumpgrenzregelventil
- 6 Durchflußrechner
- 7 Förderhöhenrechner und Sollwertbildner
- 8 Signalleitungen
- 9 "
- 10 "
- 11 "
- 12 Soll-/Ist-Wert-Vergleicher
- 13 Steuerleitung
- 14 Maximalauswahl
- 15 Pumpgrenzregler
- 16 Steuerleitung zu 5
- 17 Rückschlagklappe
- 18 Stellantrieb
- 19 Leitschaufeln
- 20 Druckmeßumformer
- 21 Ansaugleitung
- 22 Mitteldruckkompressor
- 23 Druckleitung
- 24 Umblaseleitung
- 25 Pumpgrenzregelventil

26 Durchflußrechner	
27 Förderhöhenrechner und Sollwertbildner	
28 Signalleitung	
29 "	
30 "	5
31 "	
32 Soll-/Ist-Wert-Vergleicher	
33 Steuerleitung	
34 Maximalauswahl	
35 Pumpgrenzregler	10
36 Steuerleitung zu 25	
37 Rückschlagklappe	
38	
41 Ansaugleitung	
42 Hochdruckkompressor	15
43 Druckleitung	
44 Umblasleitung	
45 Pumpgrenzregelventil	
46 Durchflussmesser	
47 Förderhöhenrechner und Sollwertbildner	20
48 Signalleitung	
49 Signalleitung	
50 Signalleitung	
51 Signalleitung	
52 Soll-/Ist-Wert-Vergleicher	25
53 Steuerleitung	
54 Maximalauswahl	
55 Pumpgrenzregler	
56 Steuerleitung zu 45	
57 Rückschlagklappe	30
58	
60 Signalleitung	
60.1 positiver Strang	
60.2 negativer Strang	
61 Verzögerungsglied, 1. Ordnung	35
62 Konstante	
63 addierender Begrenzer/Limitierer	
64 Summierer/Addierer	
70 Signalleitung	
71 Signalleitung	40
72 Soll-/Ist-Wertvergleicher	
73 Signalleitung	
74 Begrenzer	
75 Funktionsgeber	
76 Signalleitung	45
77 Signalleitung	
78 PI-Regler/Prozessgrößenregler	
79 Signalleitung (Reglerausgang)	
80 Gradientenbegrenzer	
81 Eingangsverstärker	50
82 Begrenzer	
83 Integrator	
84 Ausgangsleitung Gradientenbegrenzer	
85 Signalleitung für Rückkoppelung	
86 Steuerleitung	55
87 Signalleitung	
88 Signalleitung	
89 Prozeßgrößen-Sollwerte vom Leitsystem	

Patentansprüche

1. verfahren zum Betreiben von zwei- oder mehrstufigen Verdichtern, bei denen jede Verdichterstufe (2, 22, 42) ein eigenes zwischen einer Druckleitung (3, 23, 43) über eine Umblaseleitung (4, 24, 44) und einer Ansaugleitung (1, 21, 41) angeordnetes Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45), das jeweils in die Ansaugleitung der zugehörigen Verdichterstufe abbläst, und jeweils einen

Durchflußrechner (6, 26, 46) zum Berechnen des Ansaugdurchflusses sowie einen Rechner (7, 27, 47) für den minimal zulässigen Solldurchfluß aufweist, der aus dem Enddruck oder der Förderhöhe ermittelt wird, wobei die Rechner (6, 7), (26, 27), (46, 47) über Signalleitungen (8, 9), (28, 29), (48, 49) jeweils mit den Ansaugleitungen und Druckleitungen (1, 3), (21, 23), (41, 43) und jeweils über zwei weitere Signalleitungen (10, 11), (30, 31), (50, 51) mit Vergleichern (12, 32, 52) verbunden sind, die ihrerseits jeweils über eine Maximalauswahl (14, 34, 54), einen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) sowie Steuerleitungen (16, 36, 56) angeschlossen sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Pumpgrenzreglern (15, 35, 55) jeweils die zugehörige Maximalauswahl (14, 34, 54) vorgeschaltet wird, dass die Regeldifferenz aus dem Soll-/Ist-Wert-Vergleich der Vergleichern (12, 32, 52) der zugehörigen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) der entsprechenden Verdichterstufen (2, 22, 42) jeweils jeder Maximalauswahl (14, 34, 54) aufgeschaltet wird, dass das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) über die Steuerleitung (16, 36, 56) durch ein von der Regeldifferenz über den Pumpgrenzregler (15, 35, 55) hervorgerufenen positives oder negatives Signal entsprechend geöffnet oder geschlossen wird und dass die Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) gleichzeitig und bei gleicher Einstellung der Pumpgrenzregler (15, 35, 55) um den gleichen Betrag über die Maximalauswahl (16, 36, 46) verstellt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeldifferenz des ersten Pumpgrenzreglers auf eine Extremwertauswahl vor dem zweiten Pumpgrenzregler wirkt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuergröße, die das Pumpgrenzregelventil mit maximaler Stellgrößengeschwindigkeit verstellt, von jedem Pumpgrenzregler aus auf jedes Stellorgan wirkt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wirksame Korrekturgröße aus der Differenz einer über ein Verzögerungsglied erster Ordnung zeitlich verzögerten ursprünglichen Korrekturgröße und der unverzögerten Größe ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrekturgröße ein Offset aufgeprägt wird.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße den Gradienten für die Verstellung einer Stellgröße eines anderen Pumpgrenzreglers begrenzt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Gradient für die Begrenzung der Stellgröße eine lineare oder nichtlineare Funktion der Korrekturgröße gewählt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzung für die Stellgröße, abhängig von einer Prozessgröße, zu- oder abgeschaltet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße auf die Pumpgrenzreglerparameter wirkt und diese variiert.

10. Vorrichtung zum Betreiben von zwei- oder mehrstufigen Verdichtern, bei denen jede Verdichterstufe (2, 22, 42) ein eigenes zwischen einer Druckleitung (3, 23, 43) über eine Umblaseleitung (4, 24, 44) und einer Ansaugleitung (1, 21, 41) angeordnetes Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45), das jeweils in die Ansaugleitung der zugehörigen Verdichterstufe abbläst, und jeweils einen Durchflußrechner (6, 26, 46) zum Berechnen des An-

saugdurchflusses sowie einen Rechner (7, 27, 47) für den minimal zulässigen Solldurchfluß aufweist, der aus dem Enddruck oder der Förderhöhe ermittelt wird, wobei die Rechner (6, 7), (26, 27), (46, 47) über Signalleitungen (8, 9), (28, 29), (48, 49) jeweils mit den Ansaugleitungen und Druckleitungen (1, 3), (21, 23), (41, 43) und jeweils über zwei weitere Signalleitungen (10, 11), (30, 31), (50, 51) mit Vergleichern (12, 32, 52) verbunden sind, die ihrerseits jeweils über eine Maximalauswahl (24, 34, 54), einen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) sowie Steuerleitungen (16, 36, 56) angeschlossen sind, zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Pumpgrenzreglern (15, 35, 55) jeweils die zugehörige Maximalauswahl (14, 34, 54) vorgeschaltet ist, dass die Regeldifferenz aus dem Soll-/Ist-Wert-Vergleich der Vergleichler (12, 32, 52) der zugehörigen Pumpgrenzregler (15, 35, 55) der entsprechenden Verdichterstufen (2, 22, 42) jeweils jeder Maximalauswahl (14, 34, 54) aufgeschaltet ist, dass das Pumpgrenzregelventil (5, 25, 45) über die Steuerleitung (16, 36, 56) mit einem von der Regeldifferenz hervorgerufenen positiven oder negativen Signal über den Pumpgrenzregler (15, 35, 55) zum entsprechenden Öffnen oder Schließen beaufschlagt ist und dass die Pumpgrenzregelventile (5, 25, 45) gleichzeitig und bei gleicher Einstellung der Pumpgrenzregler (15, 35, 55) um den gleichen Betrag verstellbar über die Maximalauswahl (16, 36, 46) geschaltet sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12, 32, 52) des Pumpgrenzreglers (15, 35, 55) jeweils ein Verzögerungsglied erster Ordnung (61) und ein addierender Begrenzer (63) nachgeschaltet sind, dass der Begrenzer (63) die Reglerdifferenzeingänge vorzeichenrecht addiert und auf einstellbare Grenzwerte begrenzt und dass der Addierer (64) die ermittelte Reglerdifferenz (Extremwertauswahl) an den Pumpgrenzregler (15, 35, 55) weitergibt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrekturgröße vor dem Begrenzer (63) eine Konstante (62) aufgebracht ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

- dass zwischen dem Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12, 32, 52) und dem Begrenzer (74) jeweils ein Funktionsgeber (75) zwischengeschaltet ist,
- dass der Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12, 32, 52) über die Steuerleitung (60) direkt mit dem Pumpgrenzregler (15, 35, 55) verbunden ist,
- dass ein weiterer Soll-Ist-Wert-Vergleichler (72) mit dem Begrenzer (74) gekoppelt ist, der seine Daten an einen Prozessgrößenregler (78) weiterleitet und
- dass der Pumpgrenzregler (15) über eine Signalleitung (60) zusätzlich mit dem Funktionsgeber (75) gekoppelt ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

- dass dem Pumpgrenzregler (15) oder Prozessgrößenregler (78) ein Gradientenbegrenzer (80) nachgeschaltet ist, wobei die Daten des Pumpgrenzreglers (15) oder Prozessgrößenreglers (78) auf einen Eingangsverstärker (81) übertragen werden,
- dass der Eingangsverstärker (81) mit einem Begrenzer (82) und dieser mit einem Integrator (83) verbunden ist und
- dass dem Eingangsverstärker (81) die Aus-

gangsdaten (84) über eine Steuerleitung (85) rückübertragen werden.

15. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,

- dass an der Druckleitung (43) ein Druckmessumformer (20) angeordnet ist, der Daten über eine Signalleitung (88) auf den Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12) überträgt,
- dass ein Prozessgrößenregler (78) die Soll-Ist-Wertvergleiche (Regelgrößen) über eine Steuerleitung (87) an den Stellantrieb (18) zur Verstellung der Leitschaufeln (19) in den Turboverdichterstufen (2, 22, 42) überträgt und
- dass dem Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12) Prozessgrößen-Soll-Werte (89) vom Leitsystem übertragen werden.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,

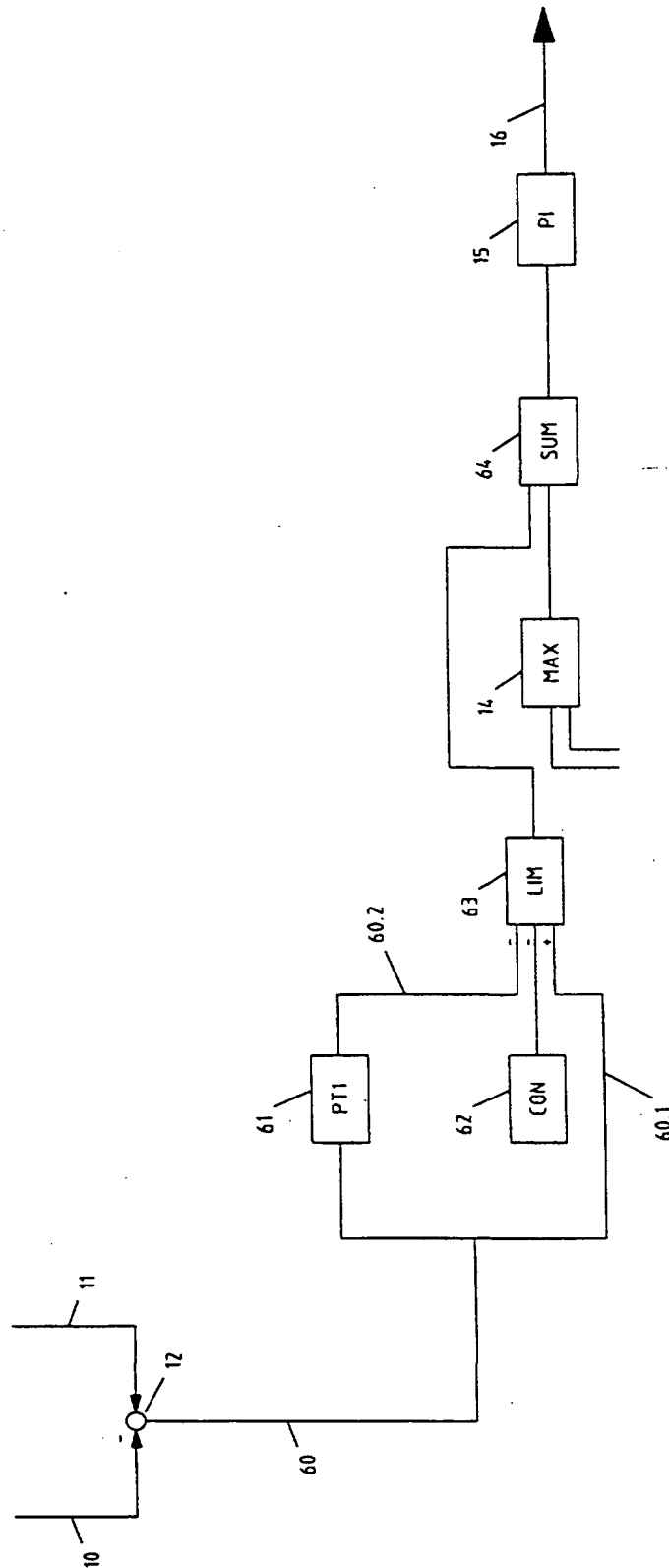
- dass an der Druckleitung (3) nach der Rückschlagklappe (17) ein Druckmessumformer (20) angeordnet ist, der über eine Steuerleitung (71) Daten an einen Soll-Ist-Wert-Vergleichler (72) überträgt und diese über eine Signalleitung (73) auf einen Prozessgrößenregler (78) weiterleitet,
- dass eine Maximalauswahl (14) Daten aus dem Soll-Ist-Wert-Vergleichler (12) auf einen Funktionsgeber (75) oder einen Pumpgrenzregler (15) überträgt,
- dass die Maximalauswahl (14) weitere Daten über die Steuerleitung (33) und (53) empfängt,
- dass der Pumpgrenzregler (15) über eine Steuerleitung (16) mit dem Pumpgrenzregelventil (5) verbunden ist,
- dass die Daten über eine Steuerleitung (76) dem Prozessgrößenregler (78) übertragen werden und
- dass der Prozessgrößenregler (78) seine Daten über eine Signalleitung (87) auf den Stellantrieb (18) der Leitschaufeln (19) in den Turboverdichterstufen (2, 22, 42) überträgt.

17. Vorrichtung nach den Ansprüchen 15 und 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Funktionsgeber (75) Daten aus der Maximalauswahl (14) über eine Steuerleitung (76) auf einen Begrenzer (74) überträgt, der dem Prozessgrößenregler (78) vorgeschaltet ist.

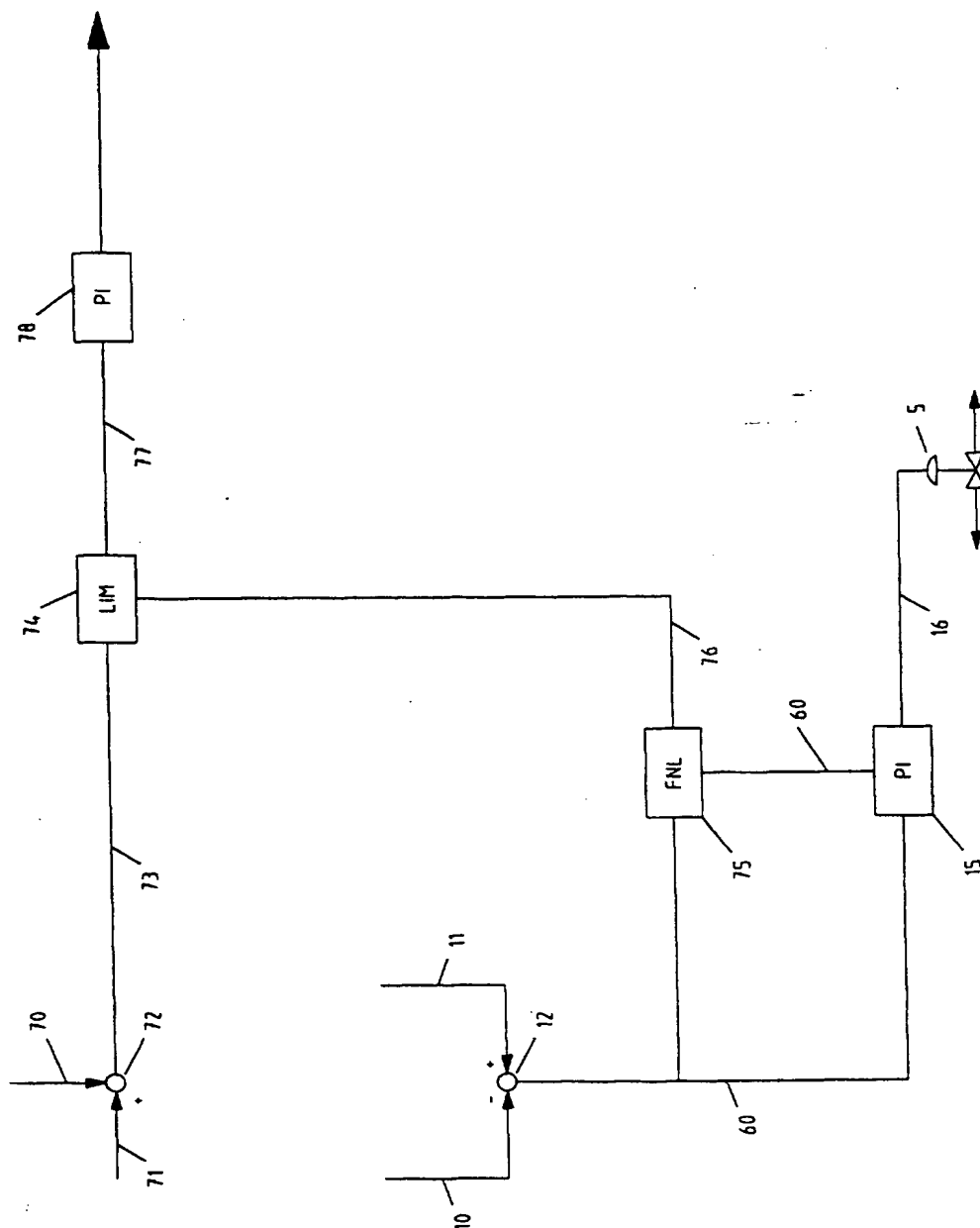
Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

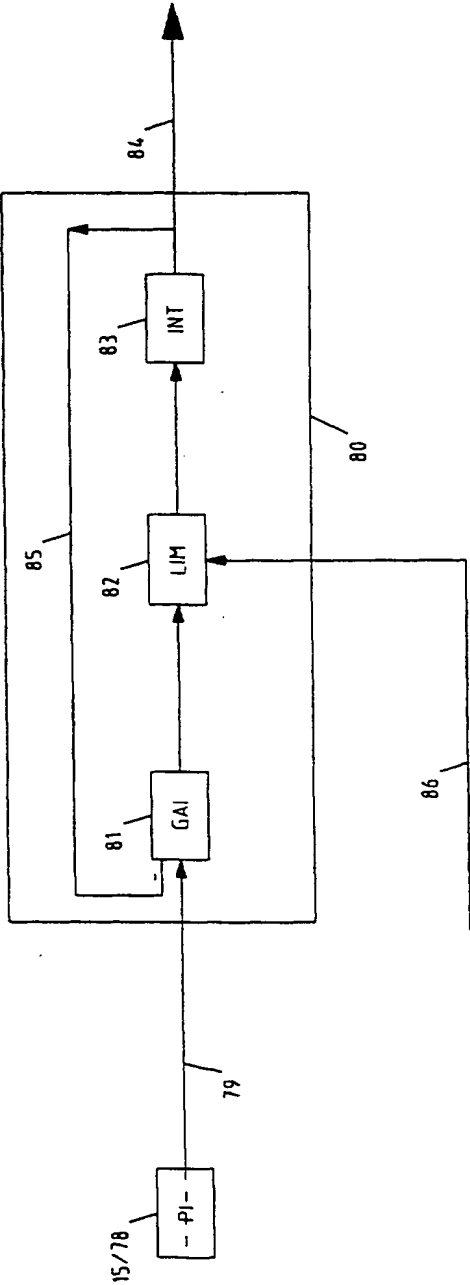
Figur 2

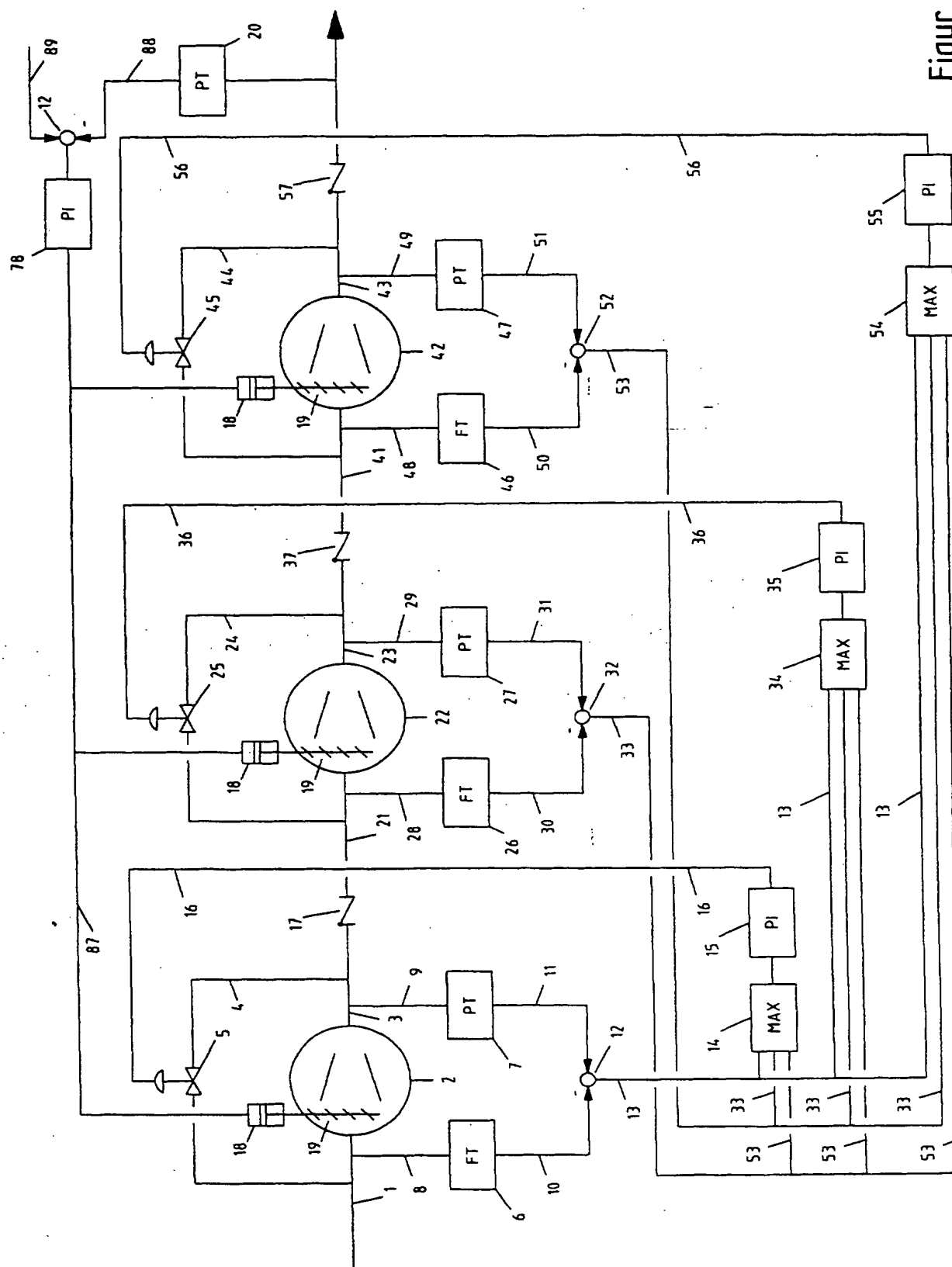


Figur 3



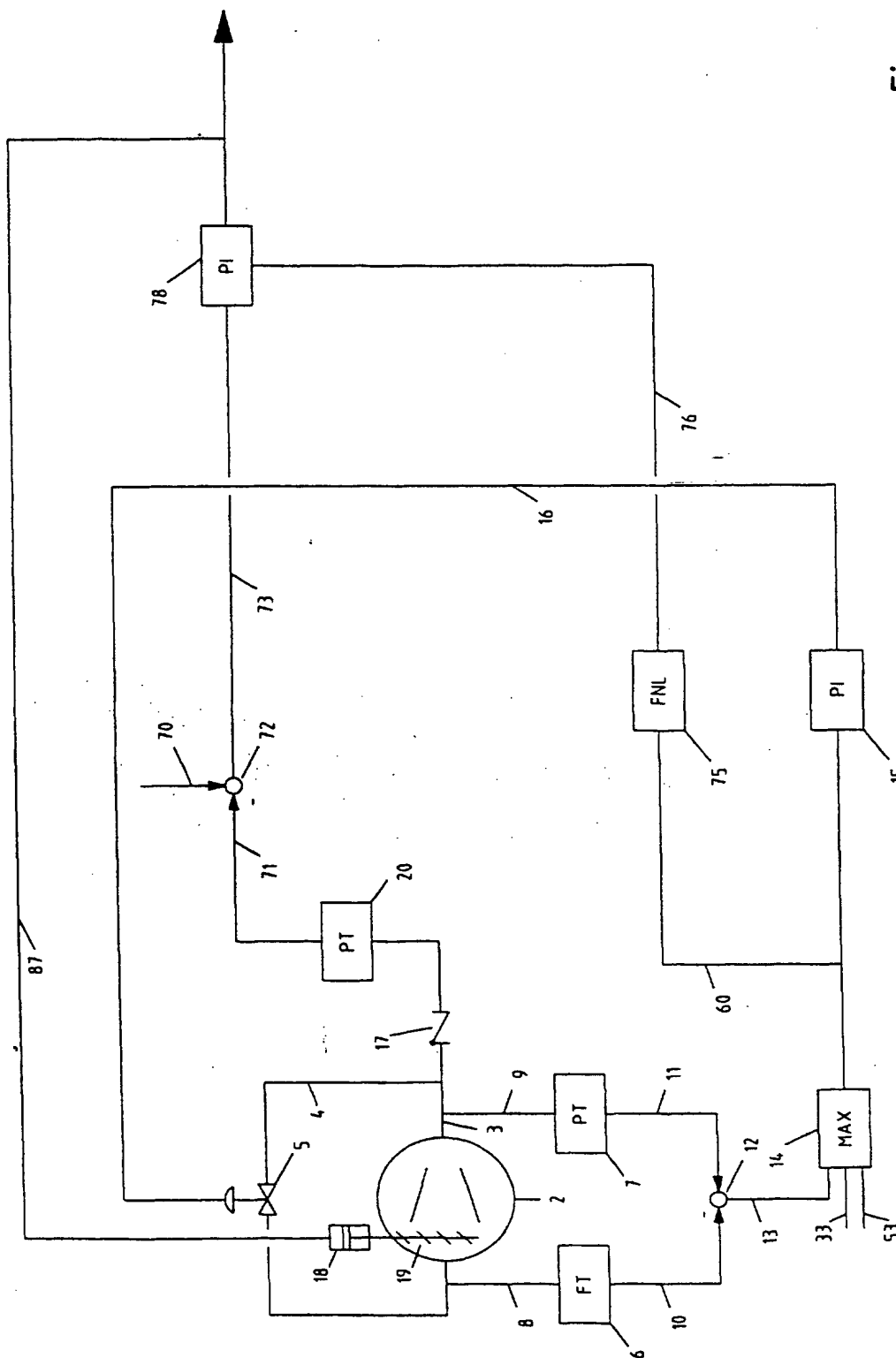
Figur 4

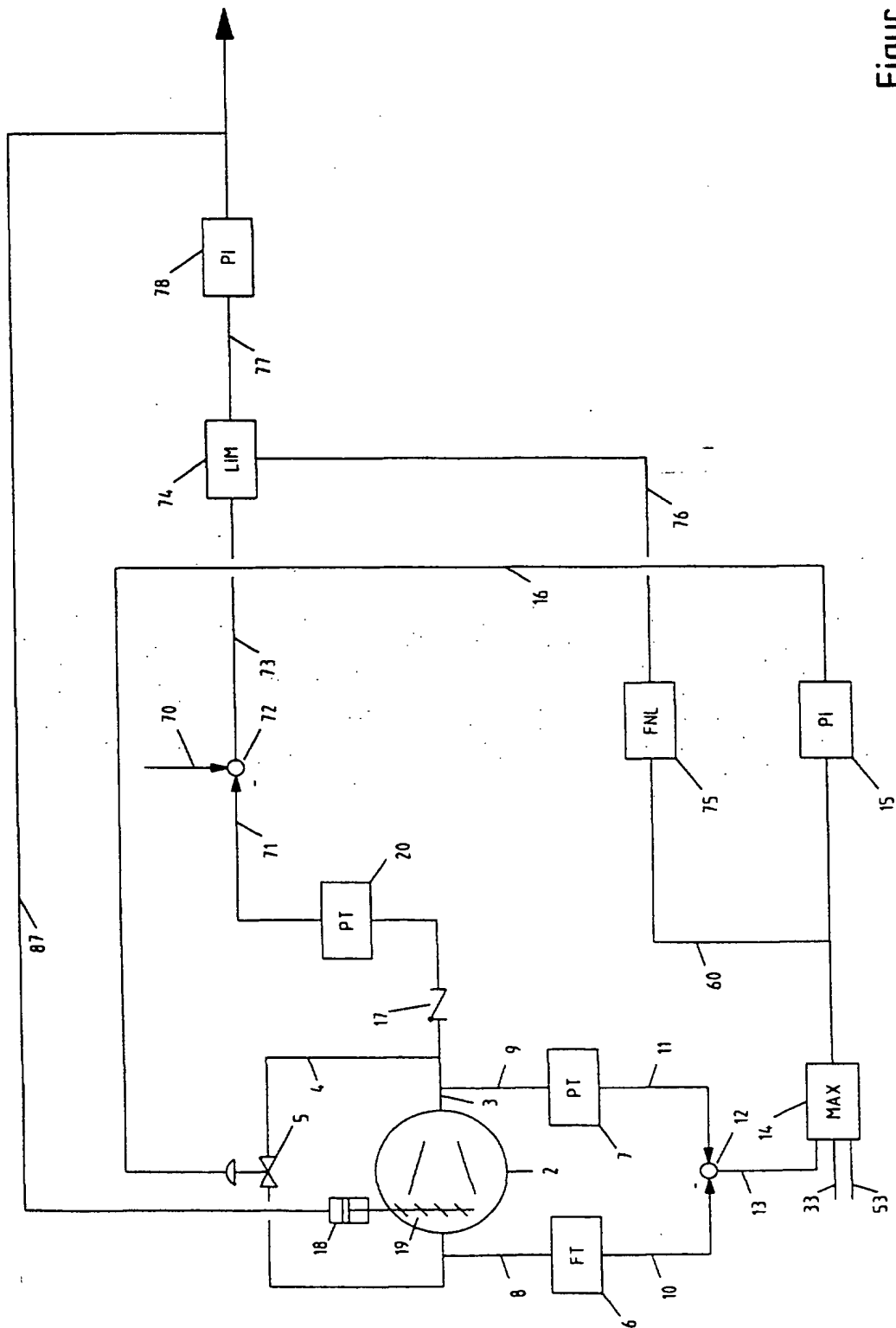




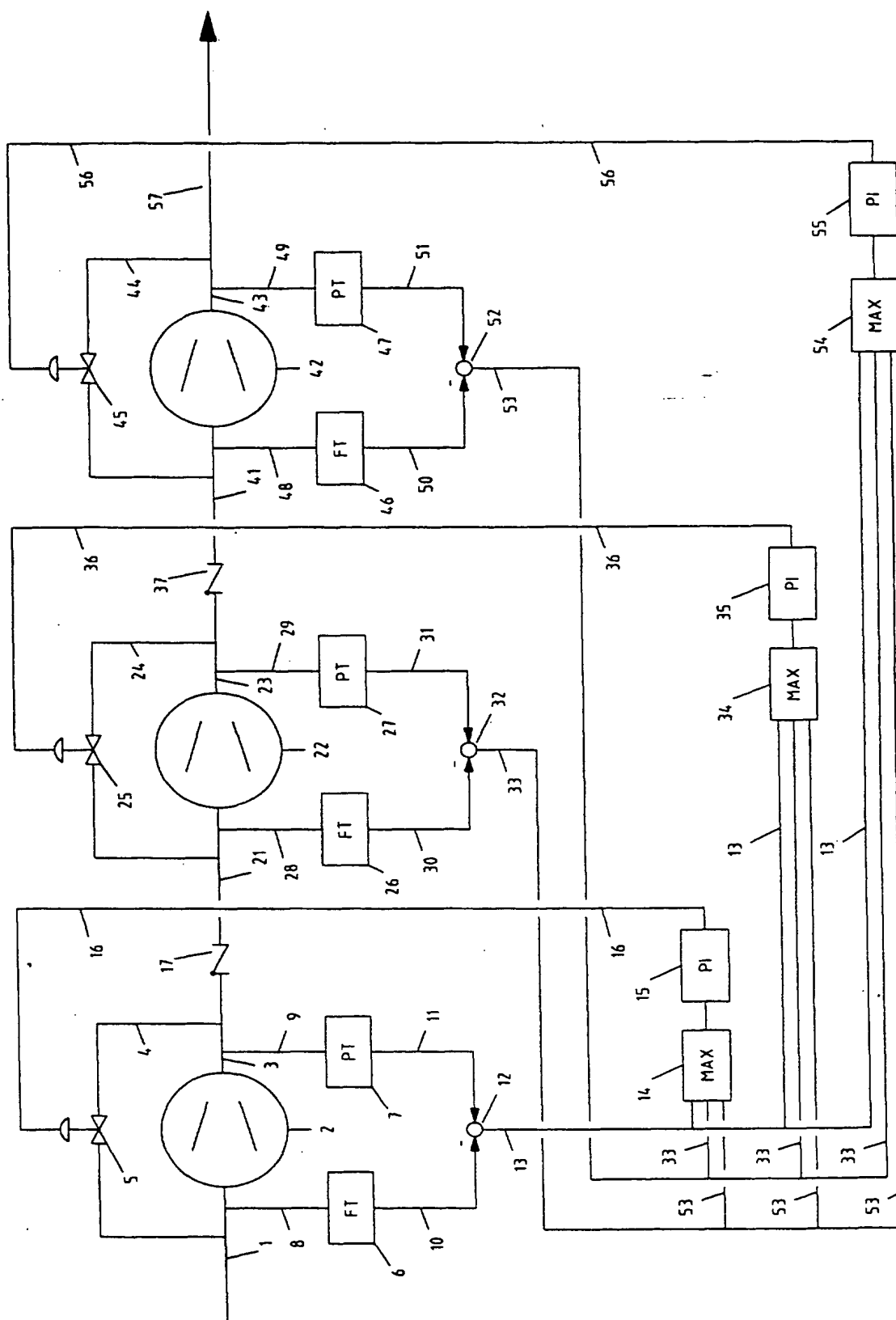
Figur 5

Figur 6





Figur 7



Figur 1